ผลของสภาวะห้องทดสอบต่อพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็วสูง Effect of Test Chamber Conditions on the Behavior of High Speed Diesel Jets

วุฒิชัย สิทธิวงษ์ กุลเชษฐ์ เพียรทอง วิระพันธ์ สีหานาม อนิรุตต์ มัทธุจักร์ และชัยเดช เกษมนิมิตรพร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 *Email: sittiwong@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อคุณลักษณะลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็วสูง (High speed diesel fuel jets) ลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็วสูงกำเนิดจากวิธีการที่เรียกว่า "การขับดันด้วยการกระแทก" (Projectile impact driven) ในการทดลองนี้ ลูกปืนจะมีความเร็วประมาณ 700 เมตร/วินาที และหัวฉีดที่ใช้เป็นหัวฉีดทรง กรวย (Conical nozzle) มุม 30 องศา ขนาดคอคอด (Orifice) 0.7 มิลลิเมตร ในส่วนของพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซลก จะนำมาวิเคราะห์ได้จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง (High speed video camera) ร่วมกับเทคนิคชาโดว์กราฟ (Shadowgraph technique) ลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็วสูงจะถูกฉีดเข้าไปภายในห้องทดสอบที่ทำการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (30 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ) ที่อุณหภูมิสูง (150 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ) ที่ ความดันสูง (30 องศาเซลเซียส 8.2 บาร์) และที่อุณหภูมิกับความดัน (100 องศาเซลเซียส 3.4 บาร์ และ 100 องศา เซลเซียส 8.2บาร์)

ผลการทดลองพบว่า ที่สภาวะบรรยากาศลำพุ่งมีความเร็วสูงสุดประมาณ 1,400 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่ สูงกว่ากรณีสภาวะอุณหภูมิและความดันสูง (1,200 เมตร/วินาที และ 1,000 เมตร/วินาที ตามลำดับ) และความดันของ สภาวะแวดล้อมมีผลกระทบต่อระยะการเคลื่อนที่และความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งอย่างมาก นอกจากนี้ ผลของการทดลองยัง พบว่าที่อุณหภูมิของห้องทดสอบที่สูงเกิดการแตกตัวของน้ำมันขึ้นจำนวนมาก

คำสำคัญ : ลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็วสูง เทคนิคซาโดว์กราฟ การขับดันด้วยการกระแทก กล้องวิดีโอความเร็วสูง

Abstract

This study investigated the effect of temperature in the test chamber on the characteristics of high speed diesel jets generated by the use of the projectile impact driven method. In the experiment, the projectile velocity was around 700 m/s and a nozzle with a 30° cone angle and 0.7 mm orifice diameter were used. The visual behaviors of high speed diesel jets were obtained with a high speed video camera and an optical system with a shadowgraph technique. The high speed diesel jets were injected into the test chamber in which the temperature and pressure were varied to the conditions of atmospheric conditions (30C°, 1atm), high temperature conditions (150°C, 1 atm) high pressure conditions (30C°, 8.2 bar) and temperature and pressure conditions. (100°C, 3.4 bar and 100°C, 8.2 bar). It was found that at the atmospheric conditions for the maximum average jet velocity was around 1,400 m/s, much higher than the high temperature and high pressure conditions (1,200 m/s, 1,000 m/s respectively). The ambient pressure had a more significant impact on the jet penetration distance and average velocity. In addition, intensive atomization of diesel fuel generation surrounding the core jet was observed at high temperature conditions.

Keywords: high speed diesel fuel jet, shadowgraph technique, projectile impact driven, high speed video camera

เหนี่ยวนำอากาศรอบ ๆ ลำพุ่งเข้าหาแกนของลำพุ่ง [13] ช่วยให้เกิดการผสมของน้ำมันกับอากาศดีขึ้น

จากข้อดีของลำพุ่งของเหลวความเร็วสูง (High speed liquid jets) จึงมีการศึกษาทั้งการทดลองและการ คำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล เกี่ยวกับคุณลักษณะของลำ พุ่งที่ฉีดเข้าไปในตัวกลางที่เป็นอากาศในสภาวะบรรยากาศ มากมาย และสำหรับการศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่ง หรือ สเปรย์น้ำมันที่กำเนิดจากระบบฉีดเชื้อเพลิงที่มีใช้ใน ยานยนต์เพื่อประโยชน์ต่อเครื่องยนต์นั้น ที่ความดันฉีด 1800 bar สเปรย์น้ำมันมีความเร็วประมาณ 580 m/s [2] ที่ห้องเผาใหม้ของเครื่องยนต์เท่านั้น การศึกษาลำพุ่งที่ฉีด เข้าไปในสภาวะต่างๆ นอกจากบรรยากาศยังมีน้อยมาก

ดังนั้น การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของอุณหภูมิและความดันในห้องทดสอบที่มีต่อ คุณลักษณะของลำพุ่งเชื้อเพลิงดีเซลที่มีความเร็วสูงเหนือ ความเร็วเสียง และสูงกว่าความเร็วของน้ำมันที่ถูกฉีดด้วย ระบบฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ปัจจุบัน โดยลำพุ่งน้ำมันถูก กำเนิดจากการกระแทกของลูกปืน (Projectile) ความเร็วสูง ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า "Projectile impact driven" และน้ำมัน ้ดีเซลจะถูกฉีดเข้าไปในห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิ และ ความดัน 4 กรณีคือ 1) ที่อุณหภูมิ 30⁰C กับความดัน 1 bar 2) ที่อุณหภูมิ 150°C กับความดัน 1 bar 3) ที่อุณหภูมิ 30°C ้กับความดัน 8.2 bar และ 4) เปลี่ยนแปลงทั้ง อุณหภูมิกับความดัน (100°C, 3.4 bar, และ 100°C, 8.2 bar) ผลของการทดลองจะได้จากการวิเคราะห์ภาพที่ถ่าย ด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง (High Speed Video Camera, HSVC) ร่วมกับเทคนิคชาโดว์กราฟ (Shadowgraph technique)

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์กำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง

การกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง เกิดจากน้ำมันดีเซลที่ ถูกบรรจุในหัวฉีดถูกอัดตัวอย่างรวดเร็ว จากการกระแทก ของลูกปืนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง วิธีการกำเนิดลำพุ่งที่ ใช้หลักการการถ่ายเทโมเมนต์ตัม หรือการกำเนิดลำพุ่ง ด้วยวิธี Projectile impact driven นี้ ถูกสร้างขึ้นครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1958 โดย Bowden และ Brunton [15] เพื่อ ศึกษาการเสียหายของวัสดุที่เกิดจากการชนของหยดน้ำ ดัง แสดงในภาพที่ 1

1. บทนำ

อิทธิพลที่มีต่อการสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซล คือการฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละออง (Fuel atomization) ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection pressure) รูปทรง ของช่องไอดีและห้องเผาไหม้ และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งความเร็ว ในการฉีดที่เกิดขึ้นภายในรูฉีดของหัวฉีด (Nozzle hole) เป็นปัจจัยหลักของขบวนการที่ทำให้เกิดการแตกตัวของ น้ำมัน สเปรย์น้ำมันจะไม่เกิดการแตกตัวที่ความเร็วต่ำ และ ที่ความเร็วฉีดที่สูงทำให้เกิดคาวิเตชั่น (Cavitation) ขึ้น ภายในคอคอดหัวฉีด การแตกตัวของน้ำมันจะเกิดขึ้นอย่าง รวดเร็ว ระยะของการแตกของแกนสเปรย์ (หรือ Breakup length) จะลดลง ซึ่งเป็นผลสำคัญต่อการแตกตัวของน้ำมัน นอกจากความเร็วฉีดของน้ำมันภายในรูฉีด รูปร่างของ หัวฉีด อุณหภูมิและความดันภายในห้องเผาไหม้ยังมีผลต่อ ระยะการแตกตัวของน้ำมันอีกด้วย [1], [2], [3], [4]

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ระบบฉีดเชื้อเพลิง high speed direct injection (HSDI) ถูกนำมาใช้กับเครื่องยนต์ ของรถยนต์ในระบบขนส่ง [1] ซึ่งมีความดันฉีดเชื้อเพลิงสูง ถึง 2,000 bar [5], [6] ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงแตกตัวเป็นละออง (Atomization) การผสม ของน้ำมันกับอากาศดีขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี ขึ้น เป็นผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้น [2], [7], [8], [9], [10], [11]

ก่อนหน้านี้ เครื่องยนต์ดีเซลไม่สามารถทำงานที่ รอบสูงมากๆ ได้ สาเหตุเนื่องจากการทำให้น้ำมันแตกตัว เป็นละอองและผสมกับอากาศต้องใช้เวลา ทำให้การจุด ระเบิดและกระบวนการเผาไหม้ล่าช้า (Ignition delay) แต่ ้อย่างไรก็ตาม ปัญหาของการผสมของน้ำมันกับอากาศ และความล่าช้าของการจุดระเบิด จะลดลงด้วยระบบฉีด เชื้อเพลิงด้วยความดันสูง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วยความ ดันสูง หรือ high speed fuel jets (HSFJ) จะมีลักษณะ พิเศษของลำพุ่งน้ำมันความเร็วสูงที่เป็นประโยชน์สำหรับ เครื่องยนต์ เช่นในเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงคอม มอนเรล (Common rail) เครื่องยนต์เครื่องบิน Supersonic combustion ram jets หรือ SCRAM jet ซึ่งเป็นอากาศยาน ความเร็วสูงระดับ Hypersonic เป็นต้น และหากสเปรย์ น้ำมันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วเสียง จะเกิด ้คลื่นกระแทก หรือ Shock wave ขึ้น รอบลำพุ่ง ซึ่งเป็น ประโยชน์ต่อการแตกตัวของน้ำมันและการสันดาปเชื้อเพลิง [12] นอกจากนี้ ที่ลำพุ่งความเร็วสูงทำให้เกิดการ [2],



ภาพที่ 1 วิธีกำเนิดลำพุ่งของ Bowden และ Brunton

ด้วยวิธีการดังกล่าว สามารถที่จะขับลูกปืนให้มีความเร็วสูง ได้ด้วยเทคนิคหลายแบบ เช่น การขับด้วยแก๊ส (ที่เรียกว่า Light-gas gun) ขับด้วยดินขับ (Gun powder) ขับด้วย แม่เหล็กไฟฟ้า (Rail gun) เป็นดัน สำหรับการทดลองนี้ได้ ออกแบบและสร้างชุดขับลูกปืนแบบใช้ดินขับ ที่เรียกว่า "horizontal single stage powder gun" (HSSPG) ดัง แสดงในภาพที่ 2





ชุดกำเนิดลำพุ่ง HSSPG ประกอบด้วย ชุดปล่อย กระสุนป็น (Launcher หรือ Powder gun) ท่อส่ง (Launch tube หรือ Gun barrel) ท่อระบายแรงดัน (Pressure relief section) ชุดหัวฉีด (Nozzle assembly) และห้องทดสอบ (Test chamber)

ชุดปล่อยกระสุนป็น (Launcher) ถูกออกแบบและ สร้างเพื่อทำหน้าที่เหมือนป็น (Gun) คือ จุดชนวนเผาไหม้ ดินขับที่อยู่ภายในปลอกลูกปืน (Cartridge) และขับลูก กระสุนปืน (Projectile) ได้ความเร็วสูงสุดประมาณ 1,400 m/s ที่ดินขับ 7 g ท่อส่ง (Launch tube)เป็นท่อโลหะ

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8 mm ยาว 1.5 m ทำหน้าที่ เหมือนลำกล้องปืนคือ ควบคุมทิศทางและแรงขับให้กระสุน ป็น ที่ส่วนปลายด้านหนึ่งของท่อส่งจะติดตั้งอยู่กับท่อ ระบายแรงดัน (Pressure relief section) มีความยาว 40 cm เจาะเป็นช่องกว้าง 3 mm ตามแนวยาวของท่อระบาย แรงดันทั้ง 4 ด้าน เพื่อระบายแรงอัดของอากาศที่อยู่ ้ด้านหน้าของลูกปืน ซึ่งจะป้องกันไม่ให้อากาศที่อยู่ด้านหน้า ของลูกปืนอัดของเหลวที่อยู่ในหัวฉีดออกมาเป็น slow jet ก่อนที่ลูกปืนจะอัดของเหลวในหัวฉีด และส่วนสุดท้าย คือ ห้องทดสอบ (Test chamber) ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นถังทรง กลม หนา 5 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 48 cm กว้าง 30 cm ฝาด้านข้างทั้งสองด้านมีช่องปิดด้วยแผ่นอะคิริคใส หนา 25 mm ใช้เป็นหน้าต่างสำหรับถ่ายภาพลำพุ่งความเร็วสูง ภายในถังทดสอบจะติดตั้งตัวทำความร้อน ขนาด 1,000 วัตต์ พัดลมหมุนเวียนอากาศ และหัววัดอุณหภูมิ ดังแสดง ในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ถังทดสอบและอุปกรณ์

ส่วนลูกปืนที่ใช้สำหรับการทดลอง ทำจาก polymethyl methacrylate (PMMA) ทรงกระบอก ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm ยาว 15 mm มวล 0.98 g

คุณลักษณะของลำพุ่งที่ผลิตด้วยวิธีนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัย หลายอย่าง เช่น ความเร็วและมวลของลูกปืน รูปร่าง ภายในของหัวฉีดเป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณลักษณะของลำพุ่งโดยเฉพาะอย่าง ยิ่งความเร็วของลำพุ่ง คือ รูปร่างภายในของหัวฉีด [16], [17] ได้แก่ ขนาดคอคอด (Orifice, d) อัตราส่วนของความ ยาวคอคอด (I) ต่อขนาดคอคอด (d) (อัตราส่วนของ I/d) และมุมภายใน (α)

การศึกษานี้เลือกหัวฉีดที่สามารถให้ความเร็วของ ลำ พุ่งได้สูงสุด [18] เป็นหัวฉีดรูปทรงกรวย (Conical nozzle) มุมภายใน 30° ขนาดรูฉีด (Orifice diameter, d) 0.7 mm ความยาวรูฉีด (I) 3 mm อัตราส่วนความยาวรูฉีดกับขนาด รูฉีด (I/d) เป็น 4.2 และค่าเฉพาะต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 4

ตารางที่ 1 คุณลักษณะเฉพาะของหัวฉีดที่ใช้สำหรับการ ทดลอง

Nozzle	<u> </u>	П	d	1	l/d	Vol	
INOZZIE	, u	U	u	1	i/u	v 01.	
	(Degre	ee) (mm	n) (mm)	(mm)	-	(cc.)	
Conica	al 30	8	0.7	3	4.2	1.5	



ภาพที่ 4 รูปร่างของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

2.2 ระบบถ่ายภาพด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง และเทคนิคชาโดว์กราฟ

การศึกษาพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซลที่ถูก ฉีดเข้าไปในห้องทดสอบ ที่ความเร็วสูงกว่าความเร็วของ สเปรย์น้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดด้วย ระบบฉีดเชื้อเพลิงที่มีใช้กับ เครื่องยนต์ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นความ เร็วระดับเหนือเสียง ดังนั้น คลื่นกระแทก หรือ Shock wave จะเกิดขึ้นรอบ ๆ ลำ พุ่ง แต่ไม่สามารถมองเห็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ด้วยตา เปล่า หรือกล้องถ่ายภาพทั่วไปได้ ซึ่งเป็นอุปสรรคของ การศึกษาลำพุ่งของเหลวความเร็วสูง โดยเฉพาะ shock wave ซึ่งเป็นอากาศที่ถูกอัดตัว ค่าความหนาแน่นของ อากาศส่วนที่เป็น shock wave จะสูง ด้วยความเร็วที เกิดขึ้นและการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศจึง ไม่สามารถมองเห็นด้วยการถ่ายภาพโดยตรงได้

จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น การศึกษานี้จึงต้องนำ กล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง มาใช้ร่วมกับเทคนิคชาโดว์ กราฟ (Shadowgraph technique) การถ่ายภาพด้วย เทคนิคชาโดว์กราฟ จะใช้หลักการบันทึกภาพจากการหัก เหของแสงที่ส่องผ่านตัวกลางที่เปลี่ยนแปลงความหนาแน่น แสงที่เคลื่อนที่ผ่านห้องทดสอบจะเคลื่อนที่เป็นเส้นขนาน (ซึ่งปกติแสงจะเคลื่อนที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดแสง ในแนวรัศมี) เมื่อมีวัตถุที่มีความหนาแน่นแตกต่างจาก ความหนาแน่นของตัวกลาง หรือตัวกลางที่แสงเคลื่อนที่ ผ่านเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น แสงในส่วนนั้นจะหักเห เกิดเป็นภาพขึ้น

ภาพที่ 5 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ระบบถ่ายภาพ ลำพุ่งความเร็วสูงและเทคนิคชาโดว์กราฟ ประกอบด้วย กล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง (High speed video camera)

photron รุ่น FASTCAM SA5 ที่มีอัตราการ บันทึกภาพสูงถึง 1,000,000 fps โดยการศึกษานี้ตั้ง ความเร็วในการบันทึกไว้ที่ 30,000 fps ที่รายละเอียดของ ภาพ 1,024x240 พิคเซล และความเร็วชัตเตอร์ 1/1,000,000 วินาทีแหล่งกำเนิดแสงสว่าง เป็นหลอดซีนอน (Xenon) ค่าความส่องสว่าง 3,500 lm ให้แสงสว่างสูงสุดที่ เวลา 3 ms หลังจากเปิดสวิทช์ไฟฟ้า เลนส์รวมแสง (Convex lens) ความยาวจุดรวมแสง (Focus length) 30 cm ทำหน้าที่รวมแสงจากแหล่งรวมแสง รูเข็ม (Pine-hole) ทำหน้าที่ตัดแสงที่กระจายที่ตำแหน่งรวมแสงของเลนส์ กระจกเงา (Plane mirror) จำนวน 2 บาน ทำหน้าที่เปลี่ยน ทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง เนื่องจากข้อจำกัดของการ ติดตั้งกับชุด HSSPG และกระจกผิวโค้ง (Parabolic mirror) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 cm ความยาวโฟกัส 1.500 cm จำนวน 2 บาน

การทำงานของระบบถ่ายภาพจะทำในห้องมืดเพื่อ ป้องกันแสงสว่างจากภายนอกรบกวน แสงของ แหล่งกำเนิดแสงได้จากหลอดไฟชนิดซีนอน ซึ่งมีคุณสมบัติ ให้ค่าความส่องสว่างที่สูง แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่ กระจายในแนวรัศมี จะถูกควบคุมให้กระจายออกในทิศทาง ที่ตกกระทบลงบนเลนส์นูน (Convex lens) ซึ่งทำหน้าที่ รวมแสง และที่ตำแหน่งรวมแสง แสงจะส่องผ่านรูเข็มที่มี ้เส้นผ่าศูนย์กลางของรูประมาณ 1 mm เพื่อให้ได้แสงที่มี ความเข้มใกล้เคียงกับแสงที่ออกจากจุดกำเนิดแสงภายใน หลอด แสงที่กระจายจะไม่สามารถส่องผ่านรูเข็มได้ นี่เป็น ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญที่จะทำให้ภาพถ่ายมีความคมชัด เมื่อ แสงผ่านรูเข็ม แสงจะกระจายออกและสะท้อนผ่านกระจก เงา (Plane mirror) ตกกระทบบนกระจกผิวโค้ง (Parabolic mirror) แสงที่สะท้อนออกจากกระจกผิวโค้งจะเคลื่อนที่ใน แนวขนานผ่านห้องทดสอบ และตกกระทบลงบนกระจกผิว ้โค้งอีกบานที่วางตรงข้ามกัน แสงจากกระจกผิวโค้งบาน แรกต้องเคลื่อนที่ในแนวขนาน มิฉะนั้น อัตราส่วนของ

ภาพถ่ายจะไม่ถูกต้อง หลังจากนั้นแสงที่สะท้อนออกจาก ของกล้อง กระจกผิวโค้งจะรวมกันที่ตำแหน่งรวมแสง และรูรับแสง



ภาพที่ 5 กล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูงกับเทคนิคชาโดว์กราฟ

2.3 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้ผลของอุณหภูมิและความดัน ของห้อง ทดสอบที่มีต่อพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซลที่ความเร็ว สูง (สูงกว่าความเร็วที่ฉีดด้วยระบบฉีด-เซื้อเพลิงใน เครื่องยนต์ปัจจุบัน) ความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำ พุ่งจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องวิดีโอความเร็วสูงร่วมกับ เทคนิคซาโดว์กราฟ

การทดลองนี้ จะกำเนิดลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็ว สูงด้วยการกระแทกของลูกปืน ที่ความเร็วประมาณ 700 m/sที่ดินขับ 3 g ซึ่งเป็นปริมาณดินขับต่ำสุดที่สามารถขับ ลูกปืนได้ (ปริมาตรของปลอกบรรจุดินปืนสูงสุด 7.5 g)

ความเร็วของลูกปืนได้จาก การวัดระยะการ เคลื่อนที่จากภาพถ่ายต่อเวลาที่ลูกปืนเคลื่อนที่ใน 1 เฟรม (ใช้เวลา 30,000 fps หรือ 1 เฟรมใช้เวลา 33 μs) ของเหลวที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันดีเซลที่มีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2

การทดลองจะควบคุมสภาวะภายในห้องทดสอบ เป็น 4 กรณีคือ

> 1. สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (30°C 1bar)

2. สภาวะอุณหภูมิสูง (150°C, 1bar)

3. สภาวะความดันสูง (30°C, 8.2 bar)

4. สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน 2

สภาวะ (100°C, 3.4 bar และ 100°C, 8.2 bar)

Property	Diesel Fuel		
Density (g/ml), at 20 [°] C	0.84		
Viscosity (cSt), at 20 [°] C	1.8-5.0		
Specific gravity, at 20 [°] C	0.82-0.90		
Flash point ([°] C)	>52		
Surface Tension (N/m), at 20 ^o C	0.025		
Boiling Point, at 1 atm	288-338 [°] C		

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 3.1 ผลของอุณหภูมิห้องทดสอบ

ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลของการ เปลี่ยนแปลง ความเร็ว และระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่ง น้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องทดสอบที่สภาวะ บรรยากาศเทียบกับกรณีอุณหภูมิสูง (150°C) จาก ภาพถ่ายด้วย HSVC ร่วมกับเทคนิคชาโดว์กราฟ ภาพที่ 6 เป็นภาพถ่ายลำพุ่งในห้องทดสอบที่สภาวะบรรยากาศ (ภาพที่ 6a) กับภาพถ่ายลำพุ่งในห้องทดสอบที่สภาวะ อุณหภูมิสูง (ภาพที่ 6b) ซึ่งสามารถมองเห็นถึงการ เปลี่ยนแปลงลักษณะ รูปร่าง และพฤติกรรมการเกิดขึ้นทั้ง ลำพุ่ง และคลื่นกระแทกได้อย่างชัดเจนในทุกๆ 33 μs และ ระยะที่ลำพุ่งเคลื่อนที่ได้ไกลสุดจากหัวฉีด ประมาณ 230 mm (เป็นข้อจำกัดของชุดทดลอง)

ที่ระยะเวลาเริ่มต้นของทั้งสองกรณี ลำพุ่งน้ำมัน ดีเซลเกิดขึ้นพร้อมกับคลื่นกระแทก (เป็น Oblique shock wave) ลำพุ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ส่วนหัวของลำพุ่ง เคลื่อนที่ติดกับคลื่นกระแทก หรือที่เรียกว่า "Attached shock wave" ในกรณีที่ 1 การแตกตัวของเม็ดน้ำมัน เกิดขึ้นรอบ ๆ แกนลำพุ่งอย่างชัดเจน ซึ่งสาเหตุหลัก เกิด จากความเร็วของลำพุ่ง และความเร็วที่สูงทำให้แรงต้าน (Drag force) เพิ่มขึ้น ส่วนหัวของลำพุ่งจึงโตขึ้น ส่วนกรณี ที่ 2 ที่เวลา 33 μs แม้ว่าจะมองเห็นลำพุ่งและคลื่นกระแทก ชัดเจน แต่การแตกตัวของเม็ดน้ำมันในภาพที่ถ่ายได้ไม่ ชัดเจนเหมือนกรณีที่ 1 เนื่องจากลำพุ่งที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก



(a)



ี ภาพที่ 6 ลำพุ่งน้ำมันดีเซลความเร็วสูงในห้องทดสอบสภาวะ (a) บรรยากาศ (b) อุณหภูมิสูง

ระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่งน้อย จึงมองไม่เห็น รายละเอียดที่เกิดขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุจากการระเหยตัว ของลำพุ่ง เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องทดสอบที่สูง และ ความหนาแน่นของอากาศที่ลดลงจากกรณีที่ 1 (1.168 kg/m³ เป็น 0.835 kg/m³) จึงเกิดการระเหยตัว รูปร่าง ส่วนหัวของลำพุ่งจึงมีลักษณะเรียวแหลมซึ่งต่างจากกรณีที่ 1 ที่ส่วนหัวของลำพุ่งจะขยายตัวออก เนื่องจากแรงด้านการ เคลื่อนที่ของอากาศในช่วงระยะเวลา 66–133 µs โดยเฉพาะในกรณีที่ 1 จะเห็นการเกิดคลื่นกระแทกขึ้น มากกว่า 1 แสดงว่าลำพุ่งถูกฉีดออกมาเป็นจังหวะ (Pulse) ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการสะท้อนของคลื่นกระแทก ภายใน หัวฉีด [16] ความเร็วภายในแกนลำพุ่งเปลี่ยนแปลง จึงเกิด คลื่นกระแทกขึ้นตลอดลำพุ่ง ในกรณีที่ 2 การเกิดคลื่น กระแทกที่แกนลำพุ่งน้อยแสดงว่าความเร็ว ในการ เคลื่อนที่ของแกนเปลี่ยนแปลง จึงเกิดคลื่นกระแทกขึ้น ตลอดลำพุ่ง ในกรณีที่ 2 การเกิดคลื่นกระแทกที่แกนลำพุ่ง มีน้อย แสดงว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลำพุ่ง ค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ต่ำ นอกจากนี้ที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ข่องลำ พุ่ง คือการเปลี่ยนแปลงของมุมคลื่นกระแทก เป็นการ ยืนยันว่า ลำพุ่งของน้ำมันมีการเปลี่ยน แปลงความเร็ว (เห็นได้ชัดในกรณีที่ 1)

shock" (หรือ detach shock) ซึ่งเป็นพฤติกรรมของการ เกิดคลื่นกระแทกจากวัตถุที่มีรูปทรงกลม หรือ blunt body โดยที่แรงต้าน (Drag force) มีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ ของสนามการไหล (Flow file)

3.3 ความเร็ว และระยะการเคลื่อนที่ ของลำพุ่ง ห้ำมันดีเซล

ภาพที่ 8 แสดงผลความเร็ว และระยะการเคลื่อนที่ ที่ของหัวลำพุ่งน้ำมันดีเซลที่ห้องทดสอบ 3 สภาวะคือที่ อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ที่อุณหภูมิสูง (150°C) และที่ความดันสูง (8.2 bar)

จากภาพ ในสภาวะบรรยากาศความเร็วสูงสุด ของลำพุ่งประมาณ 1,400 m/s เกิดขึ้นในช่วงเวลาเริ่มต้น แล้วลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับลำพุ่งในสภาวะความ ดันสูงที่มีความเร็วเริ่มต้นสูง (~ 1,000 m/s) แล้วลดลง อย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจาก กรณีสภาวะห้องทดสอบมี อุณหภูมิสูง ที่ความเร็วเริ่มต้นจะต่ำแล้วจึงสูงขึ้นจน ความเร็วสูงถึงประมาณ 1,200 m/s และมากกว่า 2 กรณี ซึ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุจากแรงต้านการเคลื่อนที่ของอากาศ ที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของอากาศในห้อง ทดสอบ ส่วนแนวโน้มของระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่ง กรณีสภาวะบรรยากาศเหมือนกับกับกรณีที่ลำพุ่งฉีดเข้าไป ในห้องทดสอบที่มีอุณหภูมิสูง คือระยะการเคลื่อนที่ของลำ พุ่งเมื่อเทียบกับเวลามีค่าใกล้เคียงกัน ในทางกลับกันใน กรณีที่ลำพุ่งฉีดเข้าไปในห้องทดสอบที่มีความดันสูง ระยะ การเคลื่อนที่ของลำพุ่งมีค่าต่ำกว่า 2 กรณีแรกมาก

เมื่อนำผลการทดลองของลำฟุ่งความเร็วสูงที่ฉีด เข้าไปในห้องทดสอบ กรณีอุณหภูมิสูงกับความดันสูง มา เปรียบเทียบกันพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อความเร็วเริ่มต้น ของลำฟุ่งอย่างชัดเจน คือ ความเร็วของลำฟุ่งเริ่มต้นต่ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากลำฟุ่งได้รับความร้อนทำให้เกิดการ ระเหยตัว และเมื่อลำฟุ่งถูกฉีดออกมาในจำนวนมากขึ้น ความเร็วของลำฟุ่งสูงขึ้นกว่ากรณีห้องทดสอบอยู่ในสภาวะ อุณหภูมิและความดันบรรยากาศอุณหภูมิ และกรณีความ ดันสูง เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศต่ำ จึงทำให้แรง ต้านการเคลื่อนที่จากอากาศต่ำด้วย ในกรณีห้องทดสอบมี ความดันสูงแนวโน้มของความเร็วเริ่มต้นของลำฟุ่งก็จะสูง และค่อย ๆ ลดลง เนื่องความดันทำให้ความหนาแน่นของ อากาศภายในห้องทดสอบมีค่าสูง แรงต้านการเคลื่อนที่ ของอากาศจึงสูงตามด้วย

ในช่วงระยะเวลาสุดท้ายของการเคลื่อนที่ของลำ พุ่งที่ถ่ายภาพได้ ในกรณีที่ 1 ไม่พบการแตกตัวของเม็ด น้ำมันที่ส่วนหัวของลำพุ่งเลย ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความ ดันฉีดที่เกิดขึ้นภายในหัวฉีดลดลง ความเร็วของลำพุ่งต่ำ แกนของลำพุ่ง (Jet core) โตขึ้น ในทางกลับกัน กรณีที่ 2 ลำพุ่งยัง รอบแกนของลำพุ่งตั้งแต่ส่วนหัวจนถึงส่วนหาง อย่างชัดเจน ส่วนระยะการเคลื่อนที่ (Penetration distance) ของลำพุ่ง จากภาพถ่ายพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อ ระยะการเคลื่อนที่ไม่มากนัก ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าลำพุ่ง เคลื่อนที่ได้ระยะไกลสุดเท่ากันทั้ง 2 กรณี แต่อุณหภูมิมีผล ด่อระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่งต่อเวลา จะเห็นได้จากกรณี ที่ 1 อุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C ลำพุ่งเคลื่อนที่ประมาณ 230 mm ใช้เวลา 266 µs กรณีที่ 2 อุณหภูมิห้องทดสอบ 150°C ลำพุ่งเคลื่อนที่ประมาณ 230 mm ใช้เวลา 199 µs แสดงว่ากรณีที่ 2 ลำพุ่งมีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่ากรณีที่ 1

3.2 ผลของความดันห้องทดสอบ

ภาพที่ 7 เป็นพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซล ความเร็วสูงของในกรณีที่ 3 คือลำพุ่งที่ถูกฉีดเข้าห้อง ทดสอบที่มีความดัน 8.2 bar (120 psi)

ในกรณีที่ 3 นี้ อากาศภายในห้องทดสอบจะถูก อัดให้มีความดันสูง ทำให้ความหนาแน่นของอากาศภายใน ห้องทดสอบสูงขึ้น (7.7 kg/m³) แสงจากแหล่งกำเนิดของ ระบบถ่ายภาพจะหักเหเมื่อผ่านห้องทดสอบ ทำให้ ภาพถ่ายที่ได้มืดกว่ากรณีที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะบริเวณ รอบๆ แกนลำพุ่งที่ได้รับผลจากการเคลื่อนตัวของอากาศ

ที่ช่วงเวลาเริ่มต้นการเกิดลำพุ่ง (ที่ 33 µs) ส่วน หัวของลำพุ่งโตกว่ากว่ากรณีที่ 1 และ 2 อย่างเห็นได้ชัด สาเหตุเกิดจากความหนาแน่นของอากาศที่สูงทำให้แรง ้ต้านอากาศมีค่าสูง และไม่เกิดการแตกตัวของน้ำมัน แสดง ้ว่าผลของความดันในสภาวะแวดล้อมมีผลต่อการแตกตัว ของน้ำมันและความเร็วของลำพุ่งอย่างชัดเจน หลังจาก ช่วงเวลา แกนของลำพุ่งเกิดการแตกตัว (Break up) ลำพุ่ง เคลื่อนช้าลงมาก คลื่นกระแทกเคลื่อนที่ห่างออกจากลำพุ่ง (กลายเป็น detached shock wave) ส่วนหัวของลำพุ่งและ ้ส่วนหน้าของคลื่นกระแทกมีลักษณะทู่ (Blunt) ไม่เรียว แหลมเหมือนกรณี attached shock wave (หรือ oblique shock) หลังจากเวลา 133 μs เห็นได้ชัดเจนว่าลำพุ่งเริ่ม หยุดการเคลื่อนที่ แต่คลื่นกระแทกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ คงที่ และในช่วงเวลาสุดท้ายจากภาพถ่าย (266 μs) หาก เปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 ลำพุ่งเคลื่อนที่ไปได้เพียง ครึ่งหนึ่งเท่านั้น คลื่นกระแทกมีลักษณะที่เรียกว่า "Bow

3.4 ผลของอุณหภูมิและความดัน

ในส่วนนี้เป็นผลการทดลองของลำพุ่งภายใต้ สภาวะห้องทดสอบที่ควบคุมทั้งอุณหภูมิและความดัน โดย การทดลองที่ 2 สภาวะ คือที่ 100°C, 3.4 bar และ ที่ 100°C, 8.2 bar เพื่อศึกษาผลของทั้งอุณหภูมิ และความ ดันที่มีต่อระยะการเคลื่อนที่) ที่สภาวะห้องทดสอบที่กล่าว ไว้ข้างตันลำพุ่ง ภาพที่ 9 แสดงพฤติกรรมของลำพุ่ง (ความเร็วและ จากผลของความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ ในช่วงเวลาเริ่มต้นถึง 99 µs ในกรณีความดันต่ำ (3.4 bar) ความเร็วของลำพุ่งสูงขึ้น เหมือนความเร็วของลำพุ่งใน กรณีที่ 2 (150°C, 1 bar) และความเร็วค่อนข้างคงที่ใน กรณีความดันสูง (8.2 bar) แทนที่จะลดลงเนื่องจากแรง ต้านของอากาศเหมือนกรณีที่ 3 (30°C, 8.2 bar) นั่นเป็น สาเหตุที่เกิดจากอุณหภูมิของห้องทดสอบ นั่นคือ ที่ความ ดันห้องทดสอบที่สูงแรงด้านการเคลื่อนที่จะสูง หลัง 99 μs ความเร็วของลำพุ่งลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุเนื่องจากผล ของความดัน ส่วนระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่งของสอง กรณี เห็นได้ชัดเจนถึงผลของความดันที่มีต่อระยะการ เคลื่อนที่อย่างชัดเจน



ภาพที่ 7 ลำพุ่งน้ำมันดีเซลในห้องทดสอบสภาวะความดันสูง



้**ภาพที่ 8** ผลของอุณหภูมิและความดันห้องทดสอบต่อความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่งน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 9 ผลของสภาวะห้องทดสอบที่เปลี่ยนแปลงทั้งอุณหภูมิและความดันต่อลำพุ่งน้ำมันดีเซล

สภาวะห้อง ทดสอบ(T: °C/P:	ความหนาแน่นของ อากาศในห้องทดสอบ	ความเร็วเฉลี่ย เริ่มต้นของลำพุ่ง	ความเร็วเฉลี่ย ของลำพุ่ง	ระยะการเคลื่อนที่ เริ่มต้นของลำพุ่ง
bar)	(kg/m³)	(m/s)	(m/s)	(mm)
30/1	1.16	1,400	1,123	46
30/8.2	9.51	1,200	669	39
100/1	0.95	780	970	26
100/3.4	3.22	750	613	25
100/8.2	7.72	840	502	28
150/1	0.84	580	1,008	19

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดลอง

ในตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดลองการที่ สภาวะต่างในห้องทดสอบ ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า กรณีที่ อุณหภูมิห้องทดสอบคงที่ ความดันเปลี่ยนแปลง (ที่ อุณหภูมิห้องทดสอบคงที่ ความดันเปลี่ยนแปลง (ที่ อุณหภูมิห้องทดสอบคงที่ ความดัน 1 bar กับ 8.2 bar และ กรณีอุณหภูมิ 100°C ความดัน 1 bar 3.4 bar และ 8.2 bar) พบว่า ความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งลดลงเมื่อความดัน เพิ่มขึ้น หรือแปรผันตรงกับความหนาแน่นของอากาศ ภายในห้องทดสอบ แต่ความเร็วเริ่มต้นแตกต่างกันไม่มาก

กรณีที่อุณหภูมิห้องทดสอบเปลี่ยนแปลง ความดันคงที่ (ที่ อุณหภูมิ 30°C, 100°C และ 150°C ความดันคงที่ที่ 1 bar และที่อุณหภูมิ 30°C และ 100°C ความดัน 8.2 bar) พบว่าความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งแตกต่างกันไม่มาก แต่ ความเร็วเริ่มต้นลดลงมากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งระยะการ เคลื่อนที่เริ่มต้นของลำพุ่งจะแสดงให้เห็นถึงความเร็วเริ่มต้น ของลำพุ่ง

4. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ สภาวะในห้องทดสอบต่อพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซล ความเร็วสูง การทดลองจะเปลี่ยนแปลงสภาวะห้องทดสอบ เป็น 4 สภาวะ คือ บรรยากาศ อุณหภูมิสูง ความดันสูง และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับความดัน 2 กรณี ที่สภาวะ ต่าง ๆ ทำให้ค่าความหนาแน่นของอากาศภายในห้อง ทดสอบแตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อค่าของแรงต้านการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ห้องทดสอบมีความดันสูง แรง ต้านของอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่ของลำพุ่งอย่างมาก แต่ พฤติกรรมของความเร็วเหมือนกับกรณีอุณหภูมิและความ ดันบรรยากาศ คือ จากความเร็วสูงแล้วค่อยๆ ลดลงอย่าง ต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างไปจากกรณีที่ห้องทดสอบมีความดัน สูง นอกจากนี้ ในกรณีอุณหภูมิสูงเกิดการแตกตัวของ น้ำมันจนระเหยตัวขึ้นรอบ ๆ แกนของลำพุ่งตลอดการ เคลื่อนที่ของลำพุ่งขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนกรณีของการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน ด้วยภาพถ่ายจากกล้อง ถ่ายวิดีโอความเร็วสูงกับเทคนิคชาโดว์กราฟซึ่งสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อความเร็วเริ่มต้น แต่ความดันมีผลต่อ พฤติกรรมของลำพุ่งมากกว่าอย่างชัดเจน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัย แห่งชาติ (วช.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

6. บรรณานุกรม

- [1] Lacoste. 2006. Characteristics of diesel sprays at high temperature and pressures. PhD Dissertation, School of Engineering, University of Brighton.
- [2] Nakahira. and et al. 1992. "The Shock Wave Generation Around the Diesel Fuel Spray with High Pressure Injection". SAE. 101(3): 741-746.
- [3] วิระพันธ์ สีหานาม และคณะ. 2550. การจำลอง ดุณลักษณะเบื้องต้นของลำพุ่งเชื้อเพลิง ดวามเร็วสูง" การประชุมเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. ณ โรงแรมเวลคัม จอมเทียน บีช จังหวัดชลบุรี 17-19 ตุลาคม 2550.
- [5] Celikten. 2003. "An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines". Applied Thermal Engineering. 23: 2051-2060.

- [6] Baker, Semin and Abdul Rahim. 2008. "Fuel Injection pressure effect on performance of diesel injection: diesel engines based on experiment". Amrican Journal of Applied Sciences 5: 197-202.
- [8] Crua. 2002. Combustion Processes in a Diesel Engine. PhD Dissertation, School of Engineering, Uiversity of Brighton.
- [7] Shi, Takayama. 1999. "Generation of hypersonic liquid fuel jets accompanying self-combustion".
 Shock Waves. 9: 327-332.
- [9] Suh, Lee. 2008. "Experiment and numerical ananlysis of diesel fuel atomization characteristics of a piezo injection system". Oil & Gas Science and Technology. 63(2): 239-250.
- [10] Desantes, Payri, Salvador, and Gil. 2005. "Development and validation of a theoretical model for diesel spray penetration". Fuel 85: 910-917.
- [11] Pianthong, Takayama, Milton, and Behnia. 2008.
 "Dynamic characteristics of pulsed supersonic fuel sprays". Shock Waves 8(1): 100-110.
- [12] Pianthong, Takayama, Milton, and Behnia. 2005.
 "Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact". Shock Waves. 4(1-2): 73-82.
- [13] Payri. and et al. 2009. "Effect of nozzle geometry on direct injection diesel engine combustion process". Applied Thermal Engineering 29: 2051-2060.
- Shimizu, Arai, and Hiroyasu. 1984.
 "Measurements of Breakup Length in High Speed Jet". JSME 27(230): 1709-1715.
- [15] Bowden and Brunton. 1961. "The deformation of solid by liquid impact at supersonic speeds".
 Mathematical and Physical Sciences 263: 433-450.

- [16] Pianthong. 2002. Supersonic Liquid Diesel Fuel Jets. PhD Dissertation, School of Engineering, The University of New South Wales.
- [17] Matthujak. And et al. 2007. "High speed jet formation by impact acceleration method". Shock Waves 16: 405-419.
- [18] Sittiwong, Seehanam, Pianthong, and Matthujak. 2009. "Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets". In Proceedings of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery, 21-23 October. Kuala Lumpur, Malaysia.